



TITLE:

Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hadyan, Hafizh

CITATION:

Hadyan, Hafizh. Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19284>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-10-01に公開; 学位規則第9条第2項により要約公開

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	Hadyan Hafizh
論文題目	Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator (ソーラーアップドラフト発電の理論解析および実験に基づく構造最適化)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文はソーラーアップドラフト発電（Solar Updraft Power Generator、SUPG）の高効率化の具体策を提示することを目的とし、数理モデルの構築、非線形性を有する支配方程式の数値解法の開発、および数値解析と実験による発電構造体の幾何学形状の最適化に関する検討と相似律に関する考察、ならびに日本とインドネシアそれぞれ複数の地点を対象とする期待出力の検討を行ったものであって、8章より成る。SUPGは太陽放射によりコレクター内部で暖められた空気が、自身の浮力により上昇気流（アップドラフト）となって中央の塔体部内を上方へ移動する際、内部のタービンを回転させる機械的エネルギーを得ようとするものであり、同時に空気流の連続条件より外気がコレクター周囲より内部へ自然に導かれ、定常的かつ安定なエネルギー生成を期待するものである。</p> <p>第1章では現在提案されている SUPG 構想を総括するとともに、太陽放射が地球上で利用可能な再生可能エネルギーとして最大の風力に比して 1000～3000 倍、化石燃料の中で最大の石炭に対し 25 倍のポテンシャルが期待できる反面、その発電効率が他の方法に比べて低く、効率向上のためには SUPG の規模が重要であるとの既往の知見を示している。次いで効率化の具体的方策として構造最適化の可能性を示し、その具体策を見出すことを本研究の主目的として掲げ、そのアプローチとして SUPG の数理モデルの構築、数理モデルの数値解法の確立、および効率化のための SUPG を構成する基本構造要素の形状最適化の3つを主な課題として掲げている。</p> <p>第2章では SUPG の基本的機構を述べ、スペイン・マンザナレスで 1980 年代に実施された先駆的研究の詳細について紹介し、唯一の可動部は塔体内部のタービンであり単純かつ耐久性に富む SUPG の構造が実現可能であること、冷却システムや燃料を必要しないこと、発展途上国にも適用可能であることなどの長所とともに、発電効率の低さや巨大かつ広大な構造体と敷地を必要とするなどの短所を指摘し、他の既往の関連研究を総括している。また、SUPG に関する数理モデルの発展をとりまとめるとともに、既往の研究用、商業用 SUPG および塔体の代わりに構造体上部に上昇流を伴う渦を生成するアイデアを紹介している。</p> <p>第3章では SUPG 内部の気流および熱収支モデルの構築について述べている。コレクター部では、軸対象、非粘性、定常流れの仮定に基づく連続条件、力学第2法則、エネルギー保存の各式、およびコレクターの外部空気、構成材料、内部空気、地面相互の熱収支式を導出している。塔体内部では空気の温度より密度を決定し、上昇流速との関係を定式化しており、タービン部の上下流に関する Bernoulli 式より期待される出力を、スラスト係数、タービン部への流入量、および塔体内部へ供給される質量流量の関数として示している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Hadyan Hafizh
<p>第4章では前章の数理モデルに対する数値解の解法について議論している。前章の各式に基づき、太陽放射、SUPG 外気温、質量流量、地面温度、各構成要素の諸元を入力条件とし、熱伝達係数を各要素に含む行列を用いて、コレクター、塔体、地面の各温度の未知数を決定する連立方程式を導出し、さらに支配方程式群の非線形性より、収束計算のアルゴリズムおよび収束性について検討している。以上の数値解法を用いてマンザナレス試験塔の観測データの再現を試み、上昇温度、上昇流速、出力の各点で本研究による解析値が観測値を精度よく記述することを示している。また、上昇温度、コレクター径、塔体高さが出力に及ぼす影響を数値的に明らかにしている。次いで電熱線を熱源とする実験室スケールの SUPG モデルに対して上記の数理モデルを適用し、コレクター周辺より外部へ拡散する熱量を考慮すれば計測値を精度良く再現可能であることを確認している。</p> <p>第5章では地面および導流壁と空気流との摩擦による減速効果と、大規模化による蓄積熱量の周囲への逸散の2つの理由から、SUPG 構造に最適形態が存在することを示し、SUPG モデルによる室内実験と結果をまとめている。形態の主要なパラメータとして、地面に対するコレクターの設置高さ、コレクター屋根の勾配、塔体の直径および高さを選び、計72種類の組合せに対し、コレクター、塔体内部の空気温度、流速より SUPG モデルの熱エネルギー吸収効率を評価し、次いで最適形状の SUPG モデルに対し、導流壁設置形状、設置数に関する一連の実験結果を示している。</p> <p>第6章では前章の実験結果に基づく最適形状について検討している。コレクター設置高さ、塔体直径については組合せに最適解が存在すること、コレクター屋根勾配が中心に向かい上り勾配となる Type A に比べ、逆勾配（Type B）の方がより高い効率となることを明らかにしている。コレクター Type B を有する最適形状に導流壁を設置した結果、曲線状導流壁により安定な旋回流の生成が確認され、導流壁を有しない場合に比べさらに上昇流速が増加すること、導流壁設置数にも最適値が存在することを明らかにしている。</p> <p>さらに SUPG 内部の気流のダイナミクスに支配的な力が慣性力と浮力であることに着目し、支配無次元量はフルード数であり、SUPG 内外の空気の温度差の関数として与えられることを示すとともに、本研究で得られた最適形状をマンザナレスの試験塔に適用した場合に期待される機械的出力は約 64% 増加するとしている。</p> <p>第7章ではマンザナレス試験塔を日本およびインドネシアの各地に設置した場合に期待できる SUPG 出力を試算している。その結果、試算した日本の4地点（静岡、高知、宮崎、石垣島）の年平均出力はほぼマンザナレスに匹敵すること、インドネシア7地点における SUPG 出力はマンザナレスを大きく上回り、場所によっては2倍の出力量が期待でき、とくに遠隔地におけるエネルギー源として期待できるとしている。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文はソーラーアップドラフト発電 (SUPG) の高効率化の具体策を提示することを目的に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 軸対称、非粘性、定常流れの仮定に基づき、太陽放射、SUPG 外気温、質量流量、地面温度、各構成要素の諸元を入力条件とし、熱伝達係数を各要素に含む行列を用いて、コレクター、塔体、地面の各温度の未知数を決定する連立方程式を導出した。
2. 前項の方程式について、収束計算に基づく数値解法を開発するとともに、マンザナレス試験塔の観測データ、本研究の SUPG 室内実験の測定データの再現を試み、これらを精度よく再現することが確認された。
3. SUPG 構造の最適形態を見出すため、地面板内部の電熱線を熱源とする SUPG モデルを用い室内実験を実施した。コレクター設置高さ、塔体直径については組合せに最適解が存在すること、コレクター屋根勾配が中心に向かい下り勾配となる形状 (Type B) がより高い効率を示すことが明らかとなった。さらに曲線状導流壁の設置により安定かつより高い上昇流速の生成が可能であること、導流壁設置数にも最適値が存在することが明らかとなった。
4. SUPG 構造の支配無次元量について考察より、フルード数が支配無次元量であり、SUPG 内外の空気の温度差の関数として提示した。さらに、本研究で得られた最適形状をマンザナレス試験塔に適用した場合に期待される機械的出力は約 64% 増加することが明らかとなった。
5. マンザナレス試験塔を日本およびインドネシアの各地に設置した場合に期待できる SUPG 出力を試算し、日本の 4 地点 (静岡、高知、宮崎、石垣島) の年平均出力量はほぼ同等であること、インドネシア 7 地点ではマンザナレスを大きく上回り、とくに遠隔地におけるエネルギー源として SUPG が期待できることが示された。

以上本論文は、SUPG 構造の実用化の可能性を示すものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 8 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成 28 年 9 月 30 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日：平成 27 年 9 月 24 日以降